



---

# **SIMULASI OPTIMASI SISTEM PLTH MENGUNAKAN SOFTWARE HOMER UNTUK MENGHEMAT PEMAKAIAN BBM DI PULAU PENYENGAT TANJUNG PINANG KEPULAUAN RIAU**

*Maula Sukmawidjaja \* & IlhamAkbar \*\**

\* Dosen Jurusan Teknik Elektro, FTI Universitas Trisakti

\*\* Alumni Jurusan Teknik Elektro, FTI Universitas Trisakti

## **Abstract**

*Currently electrification on Penyengat Island supplied by Diesel Power Plants with total capacity 285 kW to serve peak load system about 250 kW. This research aims to improve the efficiency of Fuel consumption, by means of implementing a Hybrid Power Plants on Penyengat Island. Methods used in this research is simulating and analyzing the result of optimization Hybrid Power Plants system by using Homer Software version 2.81. This software to optimize based on the lowest value of the NPC (Net Present Cost). In this research, result of the simulation and optimization by Homer Software, show that the Hybrid power plant's most optimal to be applied on the Penyengat Island is integration between PLTB, PLTS & PLTD. In this condition, the contribution of the electricity production system of PLTS at 43%, PLTB at 41%, PLTD at 16%. With capital cost for \$ 1.058.906, Operating Cost for \$ 268.758 per year, Net Present Cost for \$3.938.507, and Cost of energy for \$ 0.249/kWh. While PLTH fuel consumption is 205.601 litres/year, saving fuel consumption of 316.499 litres/year or 60,6%/year. And saving fuel consumption cost of \$ 265.859/year*

**Keywords:** *Penyengat Island, PLTH, PLTS, PLTD, PLTS, Homer*

## **1. PENDAHULUAN**

Pulau Penyengat terletak di sebelah barat Pulau Bintan, berada di Kota Tanjung Pinang dengan posisi geografis 0° 55' 29" - 0° 55' 54" Lintang Utara dan 104° 24' 51" - 104° 25' 36" Bujur Timur. Untuk menuju Pulau Penyengat, dapat dicapai melalui Kota Tanjung Pinang disambung dengan menggunakan sarana transportasi laut berupa perahu-perahu kecil, dengan jarak tempuh relatif singkat, hanya sekitar 15 menit. Pulau ini hanya berukuran luas sekitar 240 ha, dengan panjang pulau sekitar 2 km dan lebar 1 km. Pemerintah Provinsi Kepulauan Riau menetapkan Pulau Penyengat sebagai salah satu daerah tujuan pariwisata.

---

Saat ini kebutuhan listrik di suplai dari pembangkit PLN di PLTD Penyengat dengan 2 mesin berdaya mampu 165 kW dan mesin sewa berdaya mampu 120 kW dengan total daya mampu 285 kW. Namun demikian PLTD beroperasi selama 24 jam per hari dengan beban puncak sebesar 250 kW. Mengingat Pulau Penyengat merupakan salah daerah wisata, maka infrastruktur kelistrikannya perlu diperhatikan lebih komprehensif untuk mendorong pertumbuhan ekonomi masyarakat di Pulau tersebut (Ilham Akbar, 2012: 1-25). Sesuai program pemerintah hemat energi dan karena PLTD menghasilkan banyak emisi CO<sub>2</sub>, maka penyediaan energi listrik diusahakan memanfaatkan seoptimum mungkin sumber-sumber energi terbarukan setempat (Pulau Penyengat) seperti energi surya dan energi angin. Maka perlu dilakukan studi terlebih dahulu guna pengoperasian PLTD yang diintegrasikan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Secara keseluruhan integrasi ketiga macam pembangkit listrik tersebut dinamakan Pembangkit Listrik Tenaga Hidrida (PLTH). Keluaran kajian ini berupa unjuk kerja atau kemampuan PLTH, yaitu integrasi antara PLTD yang berbasis BBM, dengan PLTS dan PLT Angin yang berbasis energi terbarukan, berupa total daya PLTH, jumlah BBM yang dapat dihemat, kelebihan energi listrik yang dihasilkan, biaya pembangkitan listrik dan keluaran emisinya. Pengolahan data menggunakan perangkat lunak HOMER (Homer, 2011: 3-28).

Masalah penyediaan energi listrik di pulau Penyengat kurang efisien untuk menunjang aktivitas ekonomi masyarakat, yang hanya disuplai oleh 3 PLTD berkapasitas total 285 kW, dengan beban puncak sebesar 250 kW dan waktu suplainya 24 jam. Untuk itu perlu upaya bagaimana meningkatkan efisiensi konsumsi BBM yaitu dengan menerapkan sistem PLTH. Sehingga akan diperoleh berapa besar penghematan biaya konsumsi BBM yang bisa dilakukan dengan menerapkan Sistem PLTH pada pulau Penyengat berbasis software HOMER.

Masalah dibatasi pada daerah studi yaitu Pulau Penyengat Tanjung Pinang, Provinsi Kepulauan Riau. Beban yang diperhitungkan adalah beban aktual PLTD sesuai dengan kurva beban Harian di Pulau Penyengat, dibawah koordinasi dan dikelola langsung oleh PT. PLN Persero cabang Kepulauan Riau. Pembangkit lain

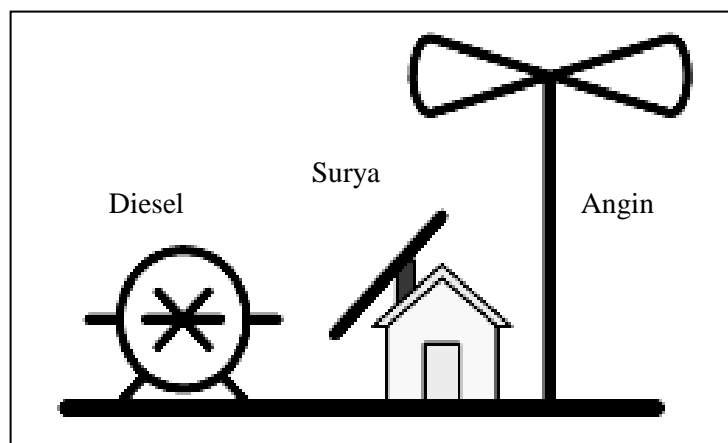
yang di-intregasikan adalah PLTS dan PLT Angin. Paramater-parameter yang ditinjau dalam pengelolaan data dengan menggunakan perangkat lunak HOMER adalah: *dispatch strategy*, pengaturan generator, dan sistem operasi PLTH.

Kajian ini dilakukan untuk melakukan hal-hal berikut. Melakukan simulasi dan optimasi model sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH). Menganalisis hasil simulasi, energi yang dibangkitkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida, Presentase kontribusi Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Pembangkit Listrik Tenaga Angin. Mengoptimasi pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida di Pulau Penyengat, sehingga dapat mengurangi konsumsi BBM.

Metode kajian yang digunakan dalam penyusunan makalah ini adalah Mengumpulkan data kebutuhan beban energi listrik di Pulau Penyengat dari PT.PLN Persero cabang Tanjung Pinang, data kecepatan angin, dan data radiasi sinar matahari di Pulau Penyengat. Mensimulasi dan mengoptimasi model PLTH dengan menggunakan perangkat lunak HOMER. Simulasi akan dijalankan dengan kondisi yang berbeda. Menganalisis hasil simulasi dan menarik kesimpulan dari analisis tersebut.

## 2. PRINSIP DASAR PEMBANGKIT LISTRIK HIBRIDA

Pembangkit listrik tenaga hibrida (PLTH) adalah gabungan atau integrasi antara beberapa jenis pembangkit listrik berbasis BBM dengan pembangkit listrik berbasis energi terbarukan seperti Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi PLTH secara skematis

PLTH merupakan solusi tepat untuk mengatasi krisis bahan bakar minyak dan ketiadaan listrik di daerah-daerah terpencil dan pulau-pulau kecil seluruh wilayah Indonesia. PLTH dapat dibangun dengan pola *microgrid*, yaitu pembangkitan terdistribusi yang bisa melingkupi berbagai macam sumber energi. Sistem pembangkit yang banyak digunakan untuk PLTH adalah generator diesel, pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), mikrohidro, pembangkit listrik tenaga Angin.

Dalam studi ini yang dimaksud PLTH adalah pembangkit listrik yang terdiri dari PLTD, PLT Angin dan PLTS (Surya/Matahari). Ketiga jenis pembangkit ini dioperasikan bersamaan dan dihubungkan pada satu rel (busbar) untuk memikul beban. Kontribusi daya masing-masing jenis pembangkit setiap saat tidak tetap, mengingat PLT Angin dan PLTS sangat tergantung dari kondisi alam. Pada siang hari, ketika cuaca cerah, PLTS dapat beroperasi maksimum dan pada malam hari PLTS sama sekali tidak beroperasi, tetapi digantikan oleh baterai yang menyimpan energi listrik dari PLTS sepanjang siang hari. Sedangkan PLT Angin dapat beroperasi selama 24 jam penuh setiap hari, namun PLT Angin tergantung tergantung dari kecepatan angin, sehingga daya yang dibangkitkan pun berubah setiap saat. Pembangkit berikutnya, PLTD adalah pembangkit instan yang dapat beroperasi penuh selama 24 jam. Namun sesuai dengan tujuan pengoperasian PLTH, yaitu menghemat BBM dan mengurangi emisi CO<sub>2</sub>, maka pengoperasian PLTD merupakan variabel terakhir yang mengikuti perubahan suplai daya PLT Angin dan PLTS, sehingga kontribusi dayanya pun tergantung dari suplai daya kedua pembangkit listrik tersebut. Dengan pengoperasian PLT Angin dan PLTS yang terintegrasi pada PLTH, maka pemakaian BBM dan emisi CO<sub>2</sub> dapat dikurangi. Pada prinsipnya peninjauan kontribusi daya dari masing-masing pembangkit listrik dalam PLTH ditinjau setiap saat, namun peninjauan pengoperasian jenis-jenis pembangkit listrik, khususnya PLTD, dapat pula ditinjau berdasarkan biaya bahan bakar minyak (BBM) dan komponen biaya pengoperasian lainnya serta biayapemeliharaan yang harus dikerjakan. Dalam kajian ini, peninjauan akan lebih ditekankan pada variabel harga BBM dan perubahan kecepatan angin (*windspeed*).

## 2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS adalah suatu teknologi pembangkit listrik yang mengkonversi energi foton dari surya menjadi energi listrik, pada panel surya yang terdiri dari sel-sel fotovoltaik. Sel-sel ini merupakan lapisan-lapisan tipis dari silikon (Si) murni atau bahan semikonduktor, bila mendapat energi foton akan mengeksitasi elektron dari ikatan atomnya menjadi elektron yang bergerak bebas, dan pada akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah.

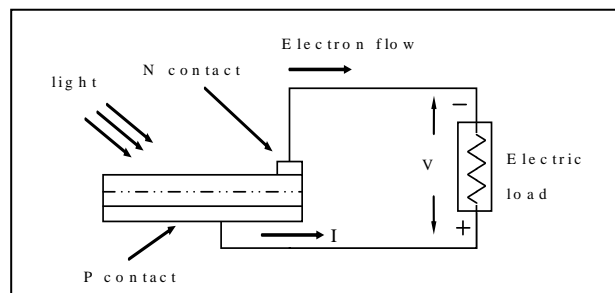
Ada 3 komponen utama dalam PLTS yaitu:

- a. Modul surya
- b. Alat pengatur
- c. Baterai / Accu

PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik arus searah yang dapat diubah menjadi listrik arus bolak balik apabila diperlukan. Oleh karena itu meskipun cuaca mendung, selama masih terdapat cahaya, maka PLTS tetap dapat menghasilkan listrik. PLTS pada dasarnya adalah pecatu daya (alat yang menyediakan daya), dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan besar, baik secara mandiri, maupun dengan hybrid, baik dengan metoda desentralisasi (satu rumah satu pembangkit) maupun dengan metoda sentralisasi (listrik dipusatkan disatu unit pembangkit, kemudian didistribusikan dengan jaringan kabel kerumah-rumah).

### ***Modul surya***

Modul surya berfungsi merubah cahaya matahari menjadi listrik arus searah, tenaga listrik yang dihasilkan tersebut harus mempunyai besar tegangan tertentu yang sesuai dengan tegangan yang diperlukan inverter kemudian inverter dapat dengan mudah merubahnya menjadi listrik arus bolak balik apabila diperlukan. Bentuk moduler dari modul surya memberikan kemudahan pemenuhan kebutuhan listrik untuk berbagai skala kebutuhan. Kebutuhan kecil dapat dicukupi dengan satu modul atau dua modul, dan kebutuhan besar dapat dicatu oleh bahkan ribuan modul surya yang dirangkai menjadi satu.



Gambar 2. Proses konversi listrik pada panel surya (Mukund R, 1999:138)

### ***Alat pengatur (Controller)***

Alat pengatur merupakan perangkat elektronik yang mengatur aliran listrik dari modul surya ke baterai dan aliran listrik dari baterai ke peralatan listrik seperti lampu, TV atau radio / tape. *Charge-Discharge* pengontrol melindungi baterai dari pengisian berlebihan dan melindungi dari korsleting atau pengiriman muatan arus berlebih keinput terminal. Alat punya beberapa indikator yang akan memudahkan pengguna PLTS dengan memberikan informasi mengenai kondisi baterai sehingga dapat mengendalikan konsumsi energi menurut ketersediaan listrik baterai. Selain itu terdapat 3 indikator lainnya yang menginformasikan status pengisian, adanya muatan berlebih dan pengisian otomatis pada saat baterai kosong.

### ***Baterai / Accu***

Baterai berfungsi menyimpan arus listrik yang dihasilkan oleh modul surya sebelum dimanfaatkan untuk menggerakkan beban. Beban dapat berupa lampu penerangan atau peralatan elektronik dan peralatan lainnya yang membutuhkan listrik. Ukuran baterai yang dipakai sangat tergantung pada ukuran genset, ukuran solar panel dan load pattern. Ukuran baterai yang terlalu besar baik untuk efisiensi operasi tetapi mengakibatkan kebutuhan investasi yang terlalu besar, sebaliknya ukuran baterai terlalu kecil dapat mengakibatkan tidak tertampungnya daya berlebih.

## **2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Angin**

Pembangkit Listrik Tenaga Angin adalah suatu teknologi pembangkit listrik yang merubah potensi energi angin menjadi energi listrik. Angin adalah udara yang

bergerak / mengalir, sehingga memiliki kecepatan, tenaga dan arah. Penyebab dari pergerakan ini adalah pemanasan bumi oleh radiasi matahari. Udara di atas permukaan bumi selain dipanaskan oleh matahari secara langsung, juga mendapat pemanasan oleh radiasi matahari bumi tidak homogen, maka jumlah energi matahari yang diserap dan dipancarkan kembali oleh bumi berdasarkan tempat dan waktu adalah bervariasi. Hal ini menyebabkan perbedaan temperatur pada atmosfer, yang menyebabkan perbedaan kerapatan dan tekanan atmosfer. Udara memiliki sifat untuk selalu mencapai kesetimbangan tekanan, karena itu perbedaan kecepatan dan tekanan atmosfer ini menyebabkan udara bergerak dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Pada daerah yang relatif panas, partikel udara mendapat energi sehingga udara memuai. Akibat dari pemuaian ini, tekanan udara di daerah itu naik, namun kerapatan udara menjadi berkurang, sehingga berat jenis udara di tempat itu menjadi relatif kecil, akibatnya udara berekspansi ke atas dan menyebabkan terjadinya penurunan tekanan di daerah yang ditinggalkannya. Daerah ini lalu diisi oleh udara dari daerah sekelilingnya yang memiliki tekanan udara dan massa jenis lebih tinggi. Ekspansi udara ke atas mengalami penurunan suhu, sehingga terjadi penyusutan dan massa jenisnya kembali naik. Udara ini akan turun kembali di tempat lain yang memiliki tekanan yang lebih rendah.

### ***Potensi Tenaga Angin***

Secara ideal kecepatan angin yang menggerakkan kincir angin ada tiga, yaitu kecepatan aliran angin masuk ( $V_i$ ) atau kecepatan aliran angin menuju blade, kecepatan aliran angin saat mengenai blade ( $V_a$ ) dan kecepatan aliran angin ketika meninggalkan blade ( $V_e$ ). Angin mempunyai daya yang sama besarnya dengan energi kinetik dari aliran angin tersebut, persamaan daya yang dibangkitkan dapat dilihat pada persamaan (1):

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (1)$$

Dimana:  $P$  adalah daya mekanik yang dihasilkan (Watt),  $\rho$  adalah kerapatan udara

( $\text{kg/m}^3$ ),  $A$  adalah luas daerah yang dicakup oleh bilah-bilah (blades) rotor ( $\text{m}^2$ ),  $V$  adalah kecepatan angin / udara ( $\text{m/dtk}$ ).

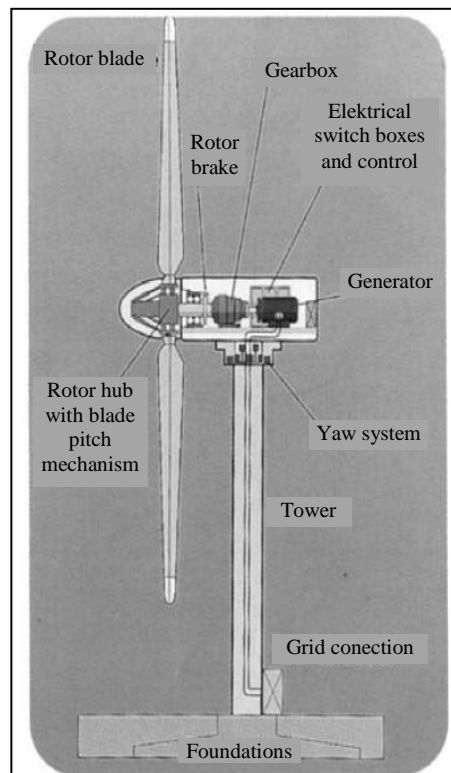
### ***Kecepatan Angin Rata-Rata***

Langkah awal perhitungan energi angin adalah mengetahui kecepatan angin rata-rata seperti persamaan (2):

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (2)$$

Dimana  $\bar{V}$  adalah kecepatan angin rata – rata ( $\text{m/s}$ ),  $V_i$  adalah kecepatan angin yang terukur ( $\text{m/s}$ ),  $T_i$  adalah lamanya angin bertiup dengan kecepatan  $V_i$  ( $\text{m/s}$ ),  $N$  adalah banyaknya data pengukuran.

Berikut merupakan potongan turbin angin.



Gambar 3. Potongan turbin angin



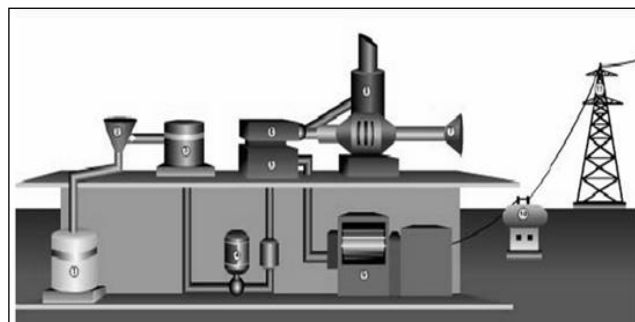
Kecepatan angin rata-rata untuk tiap satu jam digunakan untuk mengetahui variasi kecepatan harian. Dengan mengetahui variasi harian dari kecepatan angin, dapat diketahui saat-saat dimana angin bertiup kencang dalam satu hari, sehingga dapat digunakan untuk menentukan berapa jam dalam sehari semalam energi angin di daerah tersebut dapat dipergunakan untuk menggerakkan turbin.

### 2.3 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

PLTD diimplementasikan pada lokasi dimana pengeluaran bahan bakar rendah, persediaan air terbatas, minyak sangat murah dibandingkan dengan batu bara dan semua beban dasarnya adalah seperti yang dapat ditangani oleh mesin pembangkit dalam kapasitas kecil, dapat difungsikan dalam waktu singkat. Kegunaan utama PLTD adalah penyedia daya listrik yang dapat berfungsi untuk pusat pembangkit, cadangan (*stand by plant*), beban puncak dan cadangan untuk keadaan darurat (emergency). Faktor pertimbangan pilihan untuk PLTD antara lain:

1. Jarak dari beban dekat
2. Persediaan areal tanah dan air
3. Pengangkutan bahan bakar
4. Kebisingan dan kesulitan lingkungan

Bagian utama PLTD adalah mesin (motor) diesel dan generator. Mesin diesel adalah motor bakar menghasilkan tenaga mekanis yang dipergunakan untuk memutar rotor generator. Mesin diesel dengan kecepatan tinggi, bekerja dengan prinsip pembakaran kompresi dan menggunakan dua langkah putaran dalam operasi, ini digunakan bilamana mesin berkapasitas tinggi.



Gambar 4. Skema pembangkit listrik tenaga diesel

Komponen – Komponen PLTD (Keterangan gambar):

1. *Fuel Tank*
2. *Fuel oil separator*
3. *Daily tank*
4. *Fuel oil booster*
5. *Diesel motor*: menghidupkan mesin diesel untuk mempunyai energi untuk bekerja.
6. *Turbo charger*: menaikkan efisiensi udara yang dicampur dengan bahan bakar dan menaikkan tekanan serta temperaturnya.
7. *Air intake filter*: Perangkat untuk mengalirkan udara.
8. *Exhaust gas silincer*: Peredam dari sisa gas yang digunakan.
9. Generator: Menghasilkan energi listrik.
10. Pengubah utama: Alat pengubah utama untuk menjadi energi listrik.
11. Jalur transmisi: Penyaluran energi listrik ke konsumen

Daya yang dihasilkan oleh kerja mesin diesel ditentukan faktor-faktor yang terdapat pada persamaan (3) (A. K. Raja, 2006: 260):

$$P = \frac{P_e.v.i.n}{45000.a} \quad (3)$$

Dimana  $P_e$  adalah tekanan efektif yang bekerja (bar),  $V$  adalah volume langkah silinder yang dapat dicapai ( $m^3$ ),  $I$  adalah jumlah silinder,  $n$  adalah putaran per menit atau kecepatan putar mesin (rpm),  $a$  bernilai 2 untuk tipe mesin 4 langkah dan bernilai 1 untuk tipe mesin 2 langkah.

Untuk jenis 2 langkah daya keluarannya adalah 2 kali jenis 4 langkah, tetapi jenis 4 langkah banyak dipilih karena efisiensi bahan bakar yang digunakan lebih besar. Mesin diesel adalah motor bakar dimana daya yang dihasilkan diperoleh dari pembakaran bahan bakar. Adapun daya yang dihasilkan akan berubah menjadi:

1. Daya manfaat 40%
2. Panas yang hilang untuk pendingin 30%.

3. Panas yang hilang untuk pembuangan gas 24%.
4. Panas yang hilang dalam pergeseran, radiasi dan sebagainya 6%.

## **2.4 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH)**

PLTH adalah suatu sistem pembangkit listrik (PL) yang memadukan beberapa jenis PL, pada umumnya antara PL berbasis BBM dengan PL berbasis EBT (Energi baru terbarukan). Merupakan solusi untuk mengatasi krisis BBM dan ketiadaan listrik di daerah terpencil, pulau-pulau kecil dan pada daerah perkotaan. Umumnya terdiri atas: modul surya, turbin angin, generator diesel, baterai, dan peralatan kontrol yang terintegrasi. Tujuan PLTH adalah mengkombinasikan keunggulan dari setiap pembangkit sekaligus menutupi kelemahan masing-masing pembangkit untuk kondisi-kondisi tertentu, sehingga secara keseluruhan sistem dapat beroperasi lebih ekonomis dan efisien. Mampu menghasilkan daya listrik secara efisien pada berbagai kondisi pembebanan.

Untuk mengetahui unjuk kerja sistem pembangkit hibrida ini, hal-hal yang perlu dipertimbangkan antara lain: karakteristik beban dan karakteristik pembangkitan khususnya dengan memperhatikan potensi energi alam yang ingin dikembangkan di daerah itu sendiri, seperti pergantian siang malam, kecepatan angin, adanya sinar matahari, pergantian musim dan sebagainya.

## **3. SIMULASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIBRIDA DI PULAU PENYENGAT**

Pulau Penyengat terletak di sebelah barat Pulau Bintan, berada di Kota Tanjung Pinang dengan posisi geografis  $0^{\circ} 55' 29''$  -  $0^{\circ} 55' 54''$  Lintang Utara dan  $104^{\circ} 24' 51''$  -  $104^{\circ} 25' 36''$  Bujur Timur. Pulau Penyengat, dengan luas tidak lebih dari  $3,5 \text{ km}^2$ . Pulau Penyengat terletak pada lokasi strategis yaitu berada di sebelah barat Kota Tanjungpinang dan ditempuh dalam waktu kurang dari 15 menit dengan jalur transportasi laut yaitu menggunakan pompong. Diantara Pulau Penyengat dan Tanjungpinang terdapat selat yang lebarnya sekitar 1,5 km yang dapat dilewati dengan perahu. Penyengat terdiri dari  $\pm 758$  KK dengan total penduduk berkisar

2690 jiwa (tahun 2010). Sebagian besar penduduknya memiliki mata pencaharian nelayan, sewa kapal, dan kerja di Kota Tanjungpinang sebagai PNS.

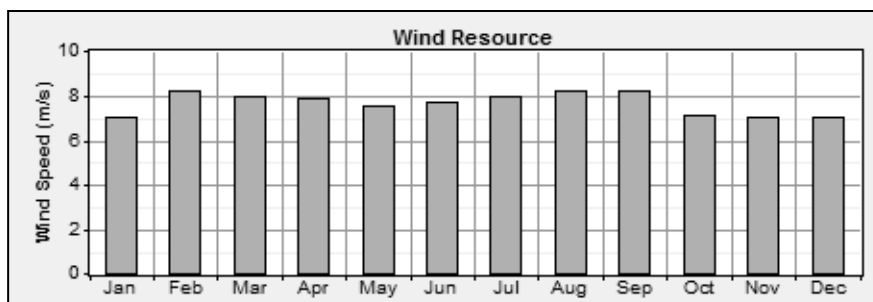


Gambar 5. Peta lokasi pulau penyengat [Sumber: google.earth (2012)]

Kondisi meteorologi dan oseanografi di Pulau Penyengat tidak begitu berbeda dengan kondisi meteorologi dan oseanografi Tanjung Pinang. Angin yang bertiup disekitar Pulau Penyengat merupakan angin musim yang berubah arah dua kali dalam setahun dengan rata-rata kecepatan 7 – 8 m/detik. Rata-rata suhu bulanan sebesar di pulau Penyengat  $28,5^{\circ}\text{C}$  dengan perbedaan suhu maksimum dan minimum sebesar  $6^{\circ}\text{C}$ .

### **Potensi Angin**

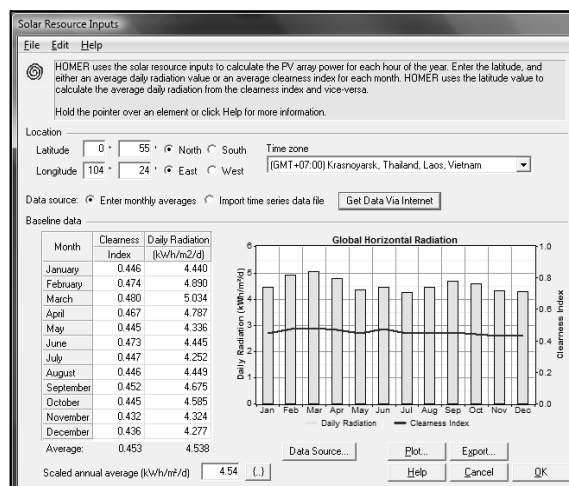
Berdasarkan data yang didapat melalui situs internet [www.weatherbase.com](http://www.weatherbase.com) rata-rata kecepatan angin di Pulau Penyengat diukur dengan ketinggian 10 meter dari permukaan tanah adalah 7,645 m/s. Data kecepatan angin Pulau Penyengat selama satu tahun dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Kecepatan angin rata-rata di pulau Penyengat [Sumber: [www.weatherbase.com](http://www.weatherbase.com), 2012].

### Potensi Radiasi Matahari

Data yang diperlukan HOMER untuk melakukan optimasi sistem pembangkit tenaga listrik adalah *clearness index* dan *daily radiation* ( $\text{kWh/m}^2/\text{day}$ ) selama satu tahun di Pulau Penyengat. Data indeks kecerahan (*Clearness Index*) dan radiasi sinar matahari (*Solar Radiation*) adalah rata-rata global radiasi matahari pada permukaan horisontal, dinyatakan dalam  $\text{kWh/m}^2$ , untuk setiap hari dalam tahun. *Clearness Index* rata – rata sebesar 0,453 dan *daily radiation* rata – rata untuk di Pulau Penyengat adalah  $4.538 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ . Sumber data diperoleh melalui bantuan HOMER yang akan menghubungkan ke satelit NASA melalui koneksi internet dengan memberikan letak lintang dan bujur lokasi penelitian. Gambar 7 adalah data *clearness index* dan *daily radiation*.



Gambar 7. *Clearness index & solar daily radiation* di pulau Penyengat

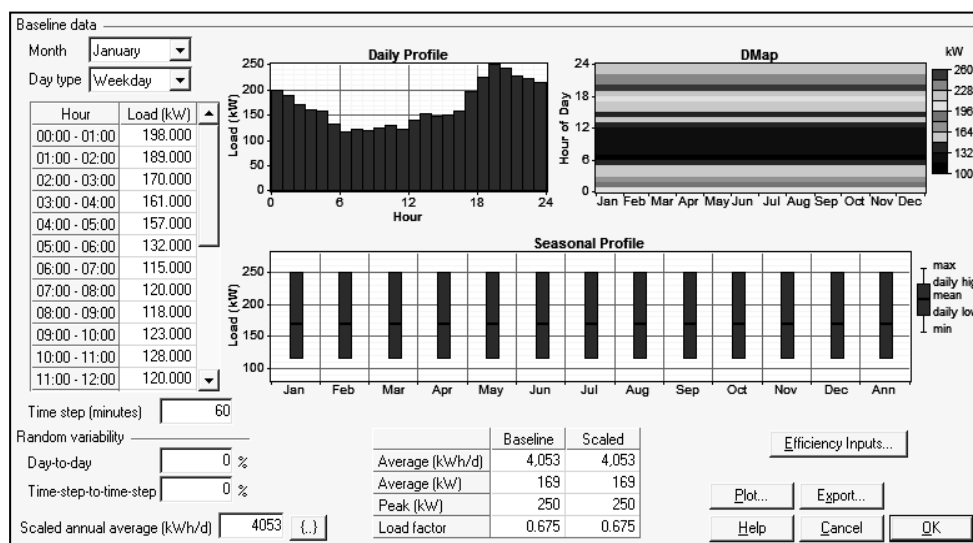
Sumber: <http://eosweb.larc.nasa.gov>

### Kondisi Kelistrikan

Kelistrikan Sistem Penyengat adalah sistem isolated yang menyuplai kebutuhan listrik pulau Penyengat. Kebutuhan listrik di pulau Penyengat hanya disuplai oleh PLTD dengan kapasitas 265 kW beban puncak sebesar 250 kW. Apabila suplai listrik terputus, maka tidak ada listrik sama sekali di pulau tersebut. Pulau Penyengat termasuk pulau terpencil, untuk mencapainya harus menggunakan kapal perintis yang hanya beroperasi 1 kali dalam sehari, hal ini menyebabkan

pasokan bahan bakar termasuk solar pun langka sehingga harganya menjadi sangat mahal. Model PLTH di Pulau Penyengat akan disimulasikan dengan kurva beban harian. Data beban utama harian di Pulau Penyengat yang diperoleh dari PT. PLN Persero Wilayah Riau Cabang Kepulauan Riau Ranting Tanjung Pinang.

Beban utama disini berupa beban untuk konsumsi rumah tangga yang sebagian besar adalah penerangan, TV dan lain-lain. Beban rata – rata harian untuk Pulau Penyengat sebesar 4,1 MWh/hari dengan beban puncaknya sebesar 250 kW terjadi pada jam 19.00 – 20.00. Data yang diperoleh dari PT. PLN Persero Wilayah Riau Cabang Kepulauan Riau Ranting Tanjung Pinang adalah data beban harian selama 24 jam, gambar berikut adalah tabel dan kurva beban harian yang diprediksikan dengan menggunakan software HOMER sesuai dengan kebutuhan penduduk di Pulau Penyengat, seperti Gambar 8.



Gambar 8. Tabel dan kurva beban harian pulau Penyengat

Sumber: HOMER (2012)

### 3.1. Perangkat Lunak HOMER

Perangkat lunak HOMER adalah suatu perangkat lunak yang digunakan untuk optimasi model sistem pembangkit listrik skala kecil (micropower), perangkat lunak ini mempermudah evaluasi desain sistem pembangkit listrik untuk berbagai jenis pembangkit listrik skala kecil baik yang tersambung ke jaringan listrik atau pun

tidak. Perangkat lunak ini melakukan perhitungan keseimbangan energi ini untuk setiap konfigurasi sistem yang akan dipertimbangkan. Kemudian menentukan konfigurasi yang layak, apakah dapat memenuhi kebutuhan listrik di bawah kondisi yang ditentukan, perkiraan biaya instalasi dan sistem operasi selama masa proyek. Sistem perhitungan biaya seperti biaya modal, penggantian, operasi dan pemeliharaan, bahan bakar dan bunga. Perangkat lunak ini bekerja berdasarkan tiga langkah utama, yaitu simulasi, optimasi dan analisis sensitivitas.

### ***Simulasi***

Perangkat lunak ini akan mensimulasikan pengoperasian sistem pembangkit listrik tenaga hibrida dengan membuat perhitungan keseimbangan energi selama 8.760 jam dalam satu tahun. Untuk setiap jam, HOMER membandingkan kebutuhan listrik ke sistem energi yang dapat memasok dalam jam tersebut, dan menghitung energi yang mengalir dari dan ke setiap komponen dari sistem. Untuk sistem yang mencakup baterai atau bahan bakar - *powered generator*, HOMER juga memutuskan jam operasi generator, apakah akan dikenakan biaya atau mengosongkan baterai.

### ***Optimasi***

Setelah disimulasi, selanjutnya adalah mengoptimasi semua kemungkinan sistem konfigurasi kemudian diurutkan berdasarkan Nilai Sekarang Bersih (*Net Present Value*) yang dapat digunakan untuk membandingkan sistem desain pilihan.

### ***Analisis Sensitivitas***

Ketika variabel sensitivitas ditambahkan, HOMER mengulangi proses optimasi untuk setiap sensitivitas variabel yang menentukan. Misalnya, jika ditetapkan kecepatan angin sebagai sensitivitas variabel, HOMER akan mensimulasikan sistem konfigurasi untuk berbagai kecepatan angin yang telah ditetapkan. Kelebihan perangkat lunak ini adalah penggunaannya mudah, bisa mensimulasi, mengoptimasi suatu model kemudian secara otomatis bisa menemukan konfigurasi sistem optimum yang bisa mensuplai beban dengan biaya sekarang

terendah (*NPC*) dan bisa menggunakan parameter sensitifitas untuk hasil yang lebih bagus. Sedangkan kelemahannya adalah perangkat lunak ini keluaran utamanya berupa parameter ekonomi (*NPC*, *COE*) bukan model sistem yang terperinci, dan beberapa teknologi energi terbarukan masih belum bisa di simulasikan dengan perangkat lunak ini.

### **Perhitungan**

Persamaan-persamaan berikut ini digunakan sebagai dasar perhitungan energi yang disuplai oleh pembangkit energi terbarukan, pengisian baterai dan pengosongan baterai serta perhitungan total nilai bersih sekarang (*Total Net Present Cost*, *TNPC*).

Persamaan daya pembangkit tenaga angin, lihat persamaan (4)

$$P_w = \eta_w * \eta_g * 0.5 * \rho_a * C_p * A * V_r^3 \quad (4)$$

Persamaan daya pembangkit tenaga surya, persamaan (5)

$$P_{pv} = \eta_{pv} * \eta_g * N_{pvp} * N_{pvs} * V_{pv} * I_{pv} \quad (5)$$

Persamaan total daya pembangkit energi terbarukan, persamaan (6)

$$P(t) = \sum_{w=1}^{n_w} P_w + \sum_{s=1}^{n_s} P_s \quad (6)$$

Persamaan pengosongan baterai, persamaan (7)

$$P_b(t) = P_b(t-1) * (1 - \sigma) - [P_{bh}(t) / \eta_{bi} - P_{bi}(t)] \quad (7)$$

Dimana  $I_{pv}$  adalah arus panel surya (A),  $P_b$  adalah energi baterai dalam interval waktu (watt),  $P_{bh}$  adalah total energi yang dibangkitkan oleh PV array (watt),



$\sigma$  adalah faktor pengosongan sendiri baterai,  $p_{bi}$  adalah total beban pada interval waktu (watt),  $\eta_{bi}$  adalah efisiensi baterai (%).

### **Biaya Net Total Masa Kini (Total Net Present Cost )**

Biaya net total masa kini (Total Net Present Cost; NPC) adalah keluaran ekonomi yang paling utama untuk nilai suatu sistem PLTH, HOMER akan mengurutkan data hasil keluaran simulasi dan optimasi berdasar nilai NPC terendah. Total NPC dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (8).

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann\ JOI}}{CRF(i, R_{proj})}$$

Dimana  $C_{ann,tot}$  adalah total biaya tahunan (\$/tahun),  $CRF(I, R_{proj})$  adalah faktor penutupan modal,  $i$  adalah suku bunga (%),  $R_{proj}$  adalah lama waktu suatu proyek,  $N$  adalah jumlah tahun.

Sedangkan faktor penutupan modal didapatkan dengan persamaan (9):

$$CRF(I, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (9)$$

### **Syarat Batas Biaya Energi (Levelized Cost of Energy)**

*levelized cost of energy* (COE) didefinisikan sebagai biaya rata per kWh produksi energi listrik yang terpakai oleh sistem. Untuk menghitung COE, biaya produksi energi listrik tahunan dibagi dengan total energi listrik terpakai yang diproduksi, dengan persamaan (10) (Paul Gilman and Peter Lilienthal, 2011: 315).

$$COE = \frac{C_{ann,tot} - C_{boiler} E_{thermal}}{E_{prim.AC} + E_{prim.DC} + E_{def} + E_{grid.sales}} \quad (10)$$

Dimana  $C_{ann,tot}$  adalah biaya total sistem tahunan (\$/tahun),  $C_{boiler}$  adalah margin biaya boiler (\$/kWh),  $E_{thermal}$  adalah total beban thermal yang terpenuhi (kWh/tahun)

$E_{\text{prim,AC}}$  adalah beban AC utama yang terpenuhi (kWh/tahun),  $E_{\text{prim,DC}}$  adalah beban DC utama yang terpenuhi (kWh/tahun),  $E_{\text{def}}$  adalah beban deferrable yang terpenuhi (kWh/tahun),  $E_{\text{grid,sales}}$  adalah total penjualan grid (kWh/tahun).

### **Metode Simulasi dan Optimasi**

Untuk optimasi disain sistem PLTH ini dibuat dua kondisi dengan mengikuti kurva beban harian, yaitu:

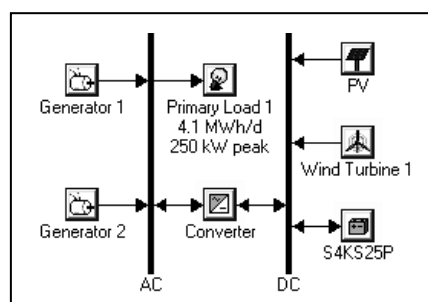
- Kondisi pertama simulasi dijalankan untuk mengetahui kondisi awal sistem pensuplaian beban di Pulau Penyengat dengan menggunakan 80 kW, 85 kW & 120 kW unit PLTD.
- Kondisi kedua simulasi dijalankan dengan menkonfigurasi 2 buah PLTD 85 kw, 80 kW & 120 kW, PLTS, PLT Angin dalam sistem kelistrikan di pulau Penyengat.

### **3.2. Model PLTH Pulau Penyengat**

Model PLTH (Paul Gilman and Peter Lilienthal, 2011: 382) yang akan disimulasi dan dioptimasi terdiri dari panel surya (photovoltaik), turbin angin, diesel generator, konverter dan baterai. Gambar 9 merupakan model PLTH yang akan disimulasi dan dioptimasi oleh HOMER.

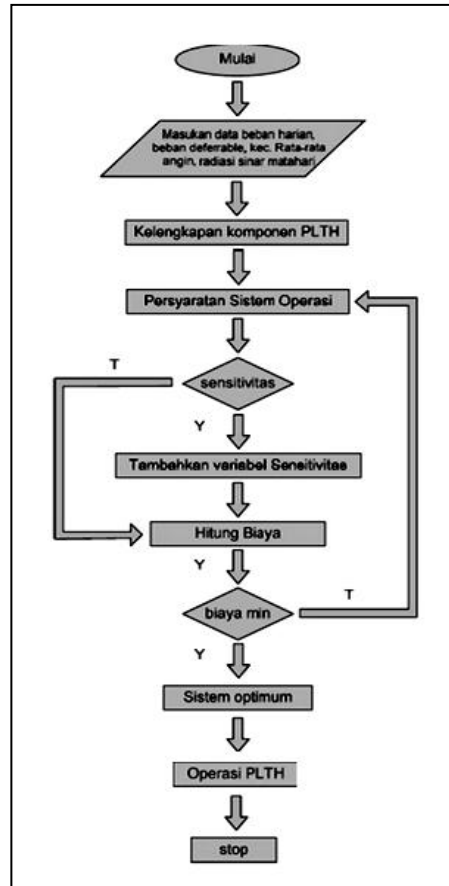
### **3.3. Biaya Komponen Penyusun PLTH Untuk Simulasi**

Komponen-komponen penyusun PLTH terdiri dari panel photovoltaic, turbin angin, generator diesel, konverter dan baterai. Semua harga yang digunakan pada simulasi ini didapat dari situs internet yang diakses pada bulan Mei – Juni 2012.



Gambar 9. Model sistem PLTH pulau Penyengat

Berikut Gambar 10 merupakan Flowchart Simulasi dan Optimasi PLTH



Gambar 10. Flowchart simulasi dan optimasi PLTH

### Modul Surya

Modul surya terdiri dari 100 modul yang tersusun seri dan diparalelkan, kapasitas tiap-tiap modul surya adalah 50 Wp. Harga untuk 1000 kWp modul surya adalah \$ 513.500, biaya penggantian \$ 513.500, biaya operasional dan pemeliharaan dengan diasumsikan \$ 3.500 pertahun, masa pakai modul surya selama 20 tahun.

Data spesifikasi Modul Surya Ameresco:

- Dimensi: 839 x 337 x 50 mm
- Daya maksimum (Ppp): 50 W
- Tegangan saat daya maksimum (Vpp): 17,5 V
- Tegangan saat daya maksimum (Ipp): 3,2 A,

### ***Turbin Angin***

Turbin angin yang digunakan adalah type BWC Excel-R dengan daya nominal 7,5 kW DC. Biaya modal untuk 1 unit turbin angin 7,5 kW DC adalah sebesar \$ 25.770, biaya penggantian \$ 25.770, biaya operasi dan pemeliharaan diasumsikan sebesar \$ 1.000 pertahun. Masa pakai turbin angin selama 15 tahun, pemasangan turbin angin di ketinggian 20 meter dari permukaan tanah.

### ***Generator Diesel***

Generator Diesel yang digunakan adalah unit generator diesel dengan kapasitas 80 kW, 85 kW & 120 kW. Waktu operasi untuk masing – masing generator diperkirakan 18.000 jam dan pembebanan minimumnya adalah 80%, 50% & 0% . Untuk generator diesel kapasitas 80 kW biaya investasi sebesar \$ 52.000, biaya penggantian \$ 52.000, biaya operasi dan pemeliharaan perhari diasumsikan sebesar \$ 1,4. Generator diesel kapasitas 85 kW biaya investasinya sebesar \$ 54.000, biaya penggantian \$ 52.000, biaya operasi dan pemeliharaan perhari diasumsikan \$ 1,44. Sedangkan generator diesel 120 kW biaya investasinya sebesar \$ 66.000, biaya penggantian \$ 66.000, biaya operasi dan pemeliharaan per hari \$ 2,16 .

### ***Konverter***

Konverter yang digunakan adalah Bidirectional konverter (Inverter–Rectifier) tipe Xantrex XW 6048 dengan efisiensi inverter sebesar 90%, lama waktu pengoperasiannya 15 tahun. Sedangkan efisiensi Rectifier adalah 85% capacity relative to inverter sebesar 100%. Biaya investasi untuk Bidirectional konverter untuk 120 kW sebesar \$ 64.980, biaya penggantian \$ 64.980 dan biaya operasi & perbaikan \$ 6.480.

### ***Baterai***

Baterai yang digunakan pada simulasi adalah baterai Surrette type 4KS25P 7,6 kWh sebanyak 30 buah, biaya investasi untuk baterai ini sebesar \$ 35.248,75, biaya penggantian sebesar \$ 35.248,75 dan biaya operasi dan pemeliharaan pertahun diasumsikan sebesar \$ 1300. Karakteristik baterai lead acid adalah sebagai berikut:

- |                      |          |
|----------------------|----------|
| a) Kapasitas nominal | 1900 Ah  |
| b) Tegangan nominal  | 4 V      |
| c) Waktu pakai       | 10 tahun |

#### ***Variabel Sensitivitas***

1. Sensitivitas kecepatan angin berkisar antara 6 m/detik – 8 m/detik, ditetapkan berdasarkan data kecepatan angin rata – rata di Pulau Penyengat yang diperoleh dari situs [www.weatherbase.com](http://www.weatherbase.com) pada bulan Juni 2012.
2. Sensitivitas harga bahan bakar antara 0,8 – 1 \$/liter, ditetapkan berdasarkan harga nyata bahan bakar di Pulau Penyengat pada bulan Juli 2012.

#### ***Batasan – Batasan Pengoperasian PLTH***

1. Batasan ekonomi yang digunakan untuk semua perhitungan ketika sistem PLTH disimulasikan adalah annual real interest rate 8%, jangka waktu proyek 25 tahun,
2. *Dispatch strategy* yang digunakan adalah *cycle charging* dengan *set point state of charge* 80%, *maximum annual capacity shortage* 0%.
3. Untuk pengaturan generatornya sistem diizinkan beroperasi dengan beberapa generator dan sistem juga diizinkan untuk mengoperasikan generator dibawah beban puncak.
4. Sistem operasi PLTH yang digunakan adalah sistem PLTH Paralel.

Setelah melalui langkah–langkah diatas, HOMER akan mensimulasi dan mengoptimasi model PLTH yang telah ditentukan

### **3.4. Hasil Simulasi PLT Hibrida**

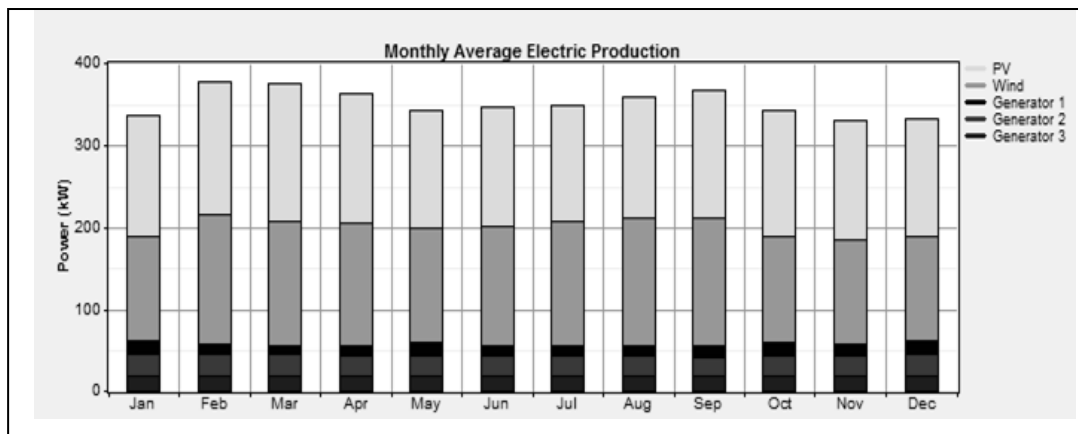
Berdasarkan hasil simulasi dan kriteria di atas, konfigurasi yang memenuhi syarat sebagai sistem PLTH optimal adalah sistem PLTH yang terdiri dari PLTS-PLTD-PLT Angin. Konfigurasi Sistem PLTH optimal terdiri dari:

1. Panel Surya dengan kapasitas daya 1000 kW
2. Turbin Angin dengan kapasitas daya 304 kW

3. 3 Unit Generator Diesel dengan kapasitas daya masing- masing 80 kW, 85 kW, 120 kW.
4. 30 Unit Baterai Surrete 4KS25P
5. Konverter dengan kapasitas daya 120 kW

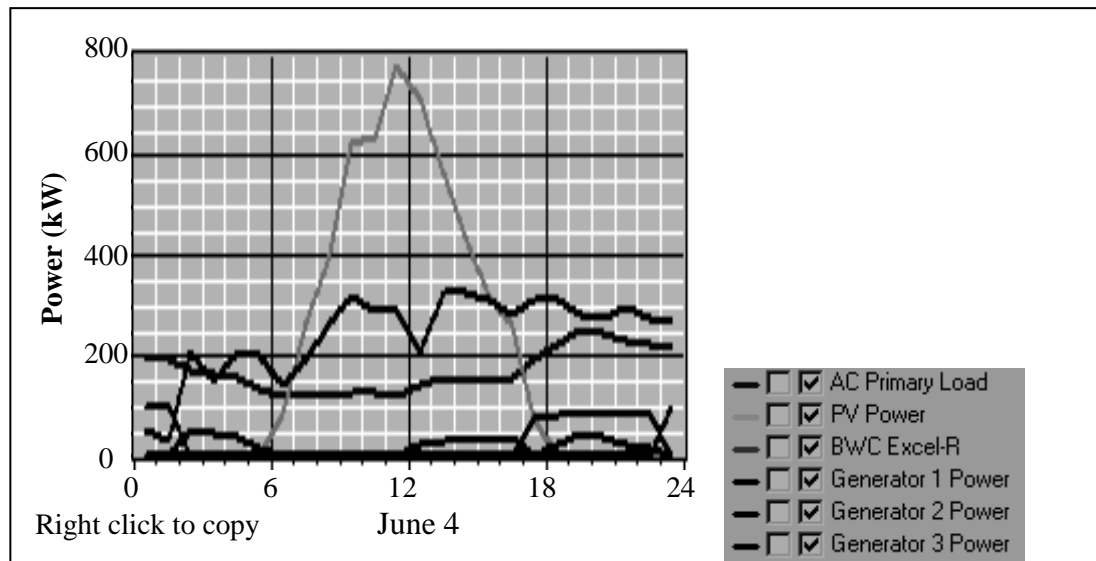
### ***Produksi Listrik***

Total produksi listrik yang dihasilkan oleh PLTS-PLT Angin-PLTD adalah 3.081.516 kWh/tahun dengan kontribusi PLTS sebesar 43% atau 1.324.894 kWh/tahun. PLT Angin memberikan kontribusi sebesar 41% atau 1.254.152 kWh/tahun, sedangkan PLTD 80 kW, 85 kW, 120 kW masing-masing hanya memberikan kontribusi sebesar 4%, 7%, 5% atau total sebesar 502.469 kWh/tahun. Produksi Listrik dari Sistem PLTH ini dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik kontribusi produksi listrik PLTS-PLTD-PLT Angin

Berdasarkan Gambar 11 diatas, kontribusi produksi listrik terbear disuplai oleh PLTS dan PLT Angin masing memberikan kontribusi sebesar 43% dan 41%. Sedangkan PLTD hanya memberikan kontribusi produksi listrik kurang dari 10%, sehingga pada sistem PLTH ini konsumsi BBM hanya 205.601 liter/tahun. Dibandingkan dengan kondisi awal, dengan menggunakan PLTH ini meghemat konsumsi BBM sebesar 316.499 liter/tahun. Adapun kurva kondisi beban harian dengan daya keluaran PLT Angin-PLTS-PLTD dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Kondisi beban harian – daya keluaran PLT Angin-PLTS-PLTD

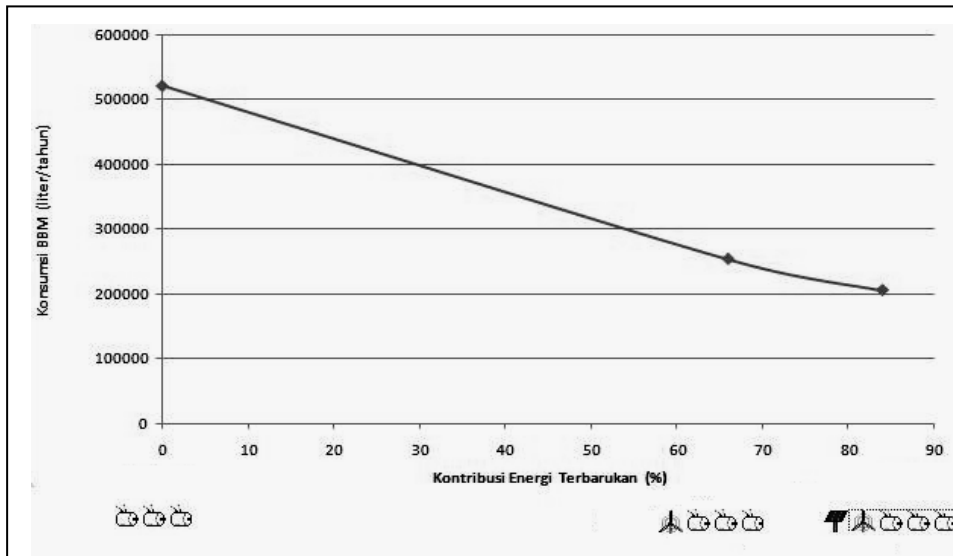
Gambar 12 adalah kondisi suplai listrik pada tanggal 4 juni 2012, dapat dilihat PLT Angin beroperasi 24 jam penuh. Sedangkan PLTS menyuplai listrik hanya pada pukul 06.00 - 18.00, keluaran maksimum PLTS terjadi antara pukul 11.00 - 12.00. PLTD disini berfungsi untuk menyuplai listrik disaat kondisi PLTS sedang tidak menyuplai listrik ke beban sistem.

### ***Konsumsi BBM***

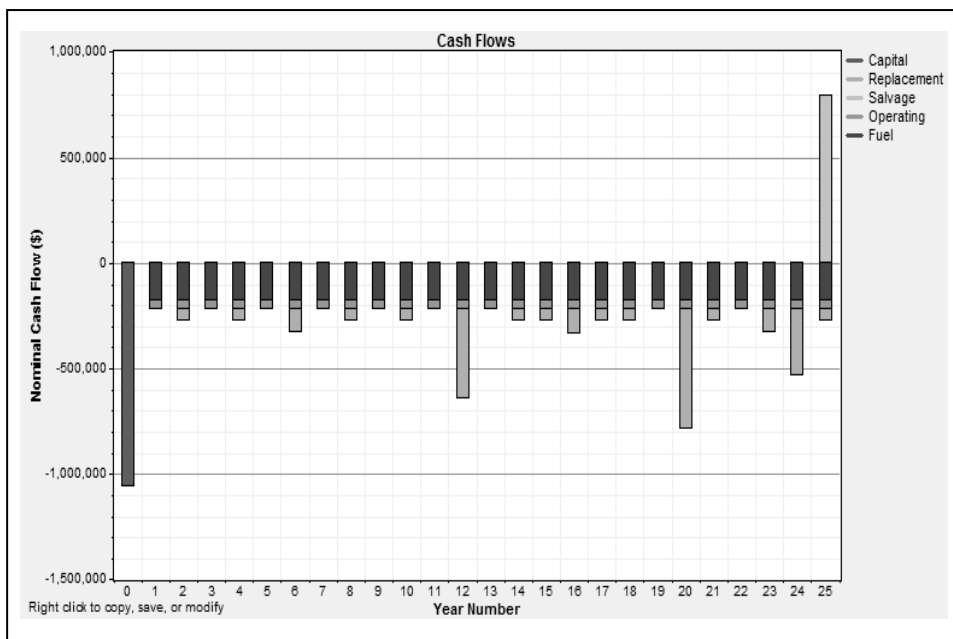
Pada Gambar 13 halaman berikut, konsumsi BBM pada konfigurasi sistem PLTH terdiri dari PLT Angin-PLTS-PLTD adalah 205.601 liter/tahun. Konfigurasi PLTH ini konsumsi BBM bisa dihemat sebesar 316.499 liter/tahun atau 60,6% per tahun. Dan menghemat biaya konsumsi BBM sebesar \$265.859 per tahun.

### ***Biaya-Biaya pada Sistem PLTH (PV-Angin-Diesel)***

Secara keseluruhan sistem yang optimal adalah sistem PLTH yang terdiri dari PLTS-PLT Angin-PLTD, biaya-biaya yang didapatkan dari hasil simulasi adalah sebagai berikut : Modal awal (*Capital Cost*) yang diinvestasikan sebesar \$ 1.058.906, Biaya pengoperasian sebesar \$ 269.758 per tahun, Nilai Bersih Sekarang (NPC) sebesar \$ 3.938.507, Biaya Listrik (COE) sebesar \$ 0.249/kWh.



Gambar 13. Konsumsi BBM diesel



Gambar 14. Aliran biaya (*cash flow*) PLTS-PLT Angin-PLTD selama 25 Tahun

Pada sistem ini biaya investasi awal lebih tinggi dari kondisi awal (PLTD) namun selama 25 tahun biaya bahan bakar dapat dikurangi \$ 316.499 liter/tahun atau 60,6% per tahun. Pada Gambar 14 terlihat penggantian PLTD dilaksanakan setiap 2 tahun karena telah melampaui jam operasinya selama 15.000 jam lebih lama waktu pengantiannya dibandingkan jika sistem hanya terdiri dari PLTD.



#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian dan simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan:

1. Elektrifikasi di pulau Penyengat masih kurang efisien karena disuplai oleh 3 PLTD yang berkapasitas total 285 kW dengan beban puncak 250 kW, dengan total konsumsi BBM selama setahun sebesar 522.100 liter/tahun.
2. Dalam kajian ini untuk meningkatkan efisiensi konsumsi BBM, dengan menggunakan sistem PLTH yang paling optimal adalah kombinasi dari PLTS-PLT Angin-PLTD. Total produksi listriknya sebesar 3.081.516 kWh/tahun, kontribusi PLTS terhadap sistem PLTH sebesar 43%, PLT Angin sebesar 41%, PLTD 80 kW sebesar 4%, PLTD 85 kW sebesar 7%, sedangkan PLTD 120 kW sebesar 5%. Konfigurasi ini ditetapkan sebagai yang paling optimal berdasarkan nilai NPC terendah yaitu sebesar \$ 3.938.507 dan biaya listrik (COE) sebesar \$ 0,249 per kWh.
3. Konsumsi BBM PLTD pada sistem PLTS-PLT Angin-PLTD adalah 205.601 liter per tahun, sedangkan konsumsi BBM PLTD pada kondisi awal yaitu sebesar 522.100 liter per tahun. Maka terjadi penghematan pemakaian BBM sebesar 316.499 liter per tahun atau 60,6% dari konsumsi BBM PLTD pada kondisi awal. Dengan menerapkan sistem PLTH, maka akan menghemat biaya BBM sebesar \$ 265.859 per tahun.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. K.Raja, 2006, *Power Plant Engineering*, New Age International (P) Ltd., Ansari Road, Daryaganj, New Delhi - 110002 .
- [2]. Homer Energy, *Getting Started Guide for Homer Legacy (Version 2.68)*, January 2011, 2334 Broadway, Suite B, Boulder, Colorado 80304 720-565-4046 • [www.homerenergy.com](http://www.homerenergy.com)
- [3]. Ilham Akbar, 2012, *Analisis Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Berbasis Perangkat Lunak Homer Di pulau Pengengat Tanjung Pinang Kepulauan Riau*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro Trisakti, Jakarta.



- [4]. Mukund R. Patel, Ph.D., P.E. 1999, *Wind and Solar Power Systems*, CRC Press LLC Printed in the United States of America.
- [5]. Paul Gilman and Peter Lilienthal, 2011, *Micropower System Modeling With Homer*, National Renewable Energy Laboratory, 2334 Broadway, Suite B, Boulder, Colorado.